APPLICATION OF $K_{1/3}$ WEATHER COEFFICIENT TO TROPICAL CYCLONE AVOIDANCE

WYKORZYSTANIE WSPÓŁCZYNNIKA POGODOWEGO $K_{1/3}$ DO WYPRACOWANIA MANEWRU UNIKANIA CYKLONU TROPIKALNEGO

Maciej Szymański, Bernard Wiśniewski

Maritime University of Szczecin

Abstract: The article presents the results of an application of $K_{1/3}$ weather coefficient to tropical cyclone avoidance manoeuvre on the example of a tropical cyclones GASTON in the North Atlantic in. Avoidance manoeuvre was planned with the use of the Bon Voyage ORS (Onboard Routing System) of the AWT and also with the use of the programme CYKLON. The routes considered in the Bon Voyage system were generated by the route optimization algorithms of the system and routes programmed manually were generated by the system operator. Weather coefficient $K_{1/3}$ was utilized as an index of safety of navigation in decision making regarding the ultimate route choice of all route variants generated and programmed in both decision making support systems. Results obtained point at the legitimacy of utilizing several decision support systems in solving the problem of tropical cyclone avoidance manoeuvre.

Keywords: ship route programming, tropical cyclone, Bon Voyage system, $K_{1/3}$ weather coefficient, safety index

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wyniki wykorzystania współczynnika pogodowego $K_{1/3}$ do wypracowania manewrów unikania cyklonu tropikalnego GASTON na Atlantyku Północnym. Manewry unikowe planowano przy użyciu systemu ORS (Onboard Routing System) pogodowej optymalizacji trasy oceanicznej statku Bon Voyage firmy AWT oraz programu CYKLON. W przypadku systemu Bon Voyage rozpatrywano trasy wygenerowane przez algorytmy optymalizacji trasy systemu oraz trasy zaprogramowane ręcznie w systemie przez nawigatora. Wykorzystano współczynnik pogodowy $K_{1/3}$ jako wskaźnik bezpieczeństwa w ostatecznym wyborze trasy spośród wariantów uzyskanych w obydwu okrętowych systemach wspomagania decyzji. Uzyskane wyniki wskazują na zasadność stosowania kilku rodzajów narzędzi wspomagania w podejmowaniu decyzji przy rozwiązywaniu problemu wypracowania manewru unikania cyklonu tropikalnego oraz na przydatność współczynnika pogodowego $K_{1/3}$ do ewaluacji ryzyka trasy oceanicznej w rejonie występowania cyklonów tropikalnych.

Słowa kluczowe: programowanie drogi morskiej statku, cyklon tropikalny, system Bon Voyage, współczynnik trudności podróży $K_{1/3}$, wskaźnik bezpieczeństwa

APPLICATION OF $K_{1/3}$ WEATHER COEFFICIENT TO TROPICAL CYCLONE AVOIDANCE

1. Introduction

Weather routing of a PANAMAX container ship (LOA=281m, GT=46000) from Antwerp (Belgium, Wandelaar pilot station), ETD = 20.08.2016, 2300UTC to Caucedo (Dominican Republic) ETA = 30.08.2016, 1800UTC, was planned on the basis of the following weather data, forecasts and outlooks:

- AWT ORS BV 7.1 and AWT weather products for this system, in particular weather forecasts and outlooks for up to 16 days in advance. (Applied Weather Technologies 2015), (Applied Weather Technologies, 2015),
- NOAA weather charts (National Oceanographic and Atmospheric Administration,
- Standard EGC Inmarsat weather forecasts and warnings.

Fig. 1. Cyclone GASTON in NOAA outlooks from Aug 25th and Aug 26th.

Analyzed route was programmed in the ORS Bon Voyage 7.1. Weather data utilized in testing is also from that ORS. Testing was carried out for the whole duration of the voyage, every 6 hours since Bon Voyage provides 6 hrs sampling. It was assumed that acceptable wave height $h_d = 6\text{m}$ and dangerous wave height $h_s = 12\text{m}$. During the voyage cyclone GASTON was encountered – see Fig. 1. Evaluation of planned avoidance manoeuvres was carried out with the use of weather coefficient $K_{1/3}$.

3. Weather coefficient $K_{1/3}$

Definition of a weather coefficient of difficulty of the sea voyage is given in (Wiśniewski, 1991) and in (Wiśniewski 1995). These works contain definitions of 2 weather coefficients of difficulty, weather coefficient of difficulty 1 and weather coefficient of difficulty 2, based on the maximum wave height in the whole voyage (coefficient 1) and a height of wave as observed by the navigators (Wiśniewski 1991) (coefficient 2) which the ship would encounter en route in the function of angle of attack and on a calculated or for each ship defined safe/acceptable and dangerous wave heights. Definitions of safe/acceptable and dangerous wave heights are also given in these works.

For evaluation of a safety level of routes tested in this article a modified weather coefficient 2 was adopted. The modification lies in replacing the observed wave height h_c with a forecasted significant wave height $h_{1/3}$. A modified weather coefficient $K_{1/3}$ is given by the following formula:

$$K_{1/3} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{h_{1/3}(q)}{h_d(q)} (1 + \alpha_d)(1 + \alpha_s) \quad (1)$$

where:

- $h_{1/3}(q)$ – significant wave height ($h_{1/3}$) forecasted on a given section of track,
- h_c – wave height as observed on board by the navigators ($h_c = h_{1/3}/1,11$),
- $h_d(q)$ – safe/acceptable wave height,
- h_s – dangerous wave height,
- $\alpha_d = n_d/n$ – a ratio of number of cases where significant wave heights are equal or bigger than h_d to a total number of observations in a given sector of angle of wave attack,
- $\alpha_s = n_s/n$ – a ratio of number of cases where significant wave heights are equal or bigger than h_s to a total number of observations in a given sector of angle of wave attack.

Limit value factor $K_{1/3} \geq 0.75$ was taken into account because of the waving height to test routes and determine if they are safe. [6, 7]

4. Results

Avoidance manoeuvre with the use of Bon Voyage ORS

Tropical cyclone was visible in the Bon Voyage system since August 23rd. However, due to a big distance (1600Nm) from its centre, as well as to a big forecast horizon time, in accordance with recommendations contained in (Wiśniewski 2014), no action except for further observation, was taken.

Routes generated automatically by the Bon Voyage system on August 25th cross-T the track of the cyclone, passing it on the polar side of its track – see Fig. 3. It is a violation of nautical rules of tropical cyclones avoidance. They have been rejected for that reason, although the weather coefficients $K_{1/3}$ for these routes, presented in Table 1, are favourable.

Fig. 3. Tropical cyclone GASTON avoidance manoeuvre –routes generated automatically by the Bon Voyage system on August 25th and 26th.
(Own study based on Bon Voyage system)

Table 1. Weather coefficients $K_{1/3}$ for routes from Fig.3. (Own study)

Route	Aug 25 th 0600UTC	Aug 25 th 1600UTC	Aug 26 th 0600UTC
$K_{1/3}$	0,296875	0,310366	0,316463

Thereafter two variants of a route were prepared for execution on Aug 26th, 1200UTC: a risky variant (Fig. 4) and a play safe variant (Fig. 5). In a risky variant the route had been programmed on the border of a parametric roll resonance sector. Its track takes the ship closer to the centre of the cyclone (its eye), thus the weather conditions along it will be heavier. For that reason it will rather not be possible to avoid the resonance sector by increasing the speed – see Fig.4. In the play safe variant the end of the ship's vector also lies on the border of resonance sector (Fig. 5), however, due to a more favourable sea state and generally better weather conditions, it would be possible to both increase the ship's speed and alter ship's heading in order to clear the resonance sector.

Risky variant is commercially better than the play safe variant in terms of total distance en route and fuel costs. A breakdown of commercial parameters of the voyage and weather coefficients $K_{1/3}$ for both variants is given in Table 2.

Application of $K_{1/3}$ weather coefficient to tropical cyclone avoidance
Wykorzystanie współczynnika pogodowego $K_{1/3}$ do wypracowania manewru...

Table 2. Commercial parameters and weather coefficients $K_{1/3}$ for routes of a risky and play safe variants (Own study)

Route	Play safe variant	Risky variant
Distance [Nm]	4202	4117
Cost [USD]	476352	458582
$K_{1/3}$	0,257917	0,272604

Fig. 4. Avoidance manoeuvre in Bon Voyage system – manual programming, risky variant. (Own study based on Bon Voyage system)

Fig. 5. Avoidance manoeuvre in Bon Voyage system – manual programming, play safe variant. (Own study based on Bon Voyage system)

Fig. 7. Avoidance manoeuvres route sections in CYKLON variant and risky and play safe variants in Bon Voyage system.
 (Own study based on Bon Voyage system)

Table 4. Significant wave heights $H_{1/3}$ for play safe, risky and CYKLON manoeuvres for time frames between 26.08, 1800UTC and 28.08, 1200UTC (Own study)

Time	Play safe	Risky	CYKLON
Aug 26 th 1800	0,9	0,9	0,9
Aug 27 th 0000	1,6	1,6	1,6
Aug 27 th 0600	3,0	3,2	3,0
Aug 27 th 1200	3,5	5,2	5,2
Aug 27 th 1800	3,3	4,6	6,7
Aug 28 th 0000	2,7	3,0	4,2
Aug 28 th 0600	1,9	2,1	3,0
Aug 28 th 1200	1,5	1,6	2,6

5. Conclusions

- Bon Voyage ORS system is not an effective tool of tropical cyclone avoidance. It is not possible to programme nautical rules of cyclone avoidance in it, one of which is the rule to pass the cyclone from the equator side.
- Resonance avoidance tool, like SNAPSHOT in the Bon Voyage ORS, is very helpful in determining if the avoidance manoeuvre, obtained by other methods, is safe in terms of wave resonance.
- Weather coefficient $K_{1/3}$ is effective at determination of a general navigational safety level of a programmed route.
- Planning and execution of avoidance manoeuvre should be carried out with the use of several independent methods and tools to check and test the manoeuvre before starting it.

- It seems sensible to implement the tool calculating the safe sectors and courses of tropical cyclone avoidance in the ORS systems, like the CYKLON programme and algorithm to calculate the weather coefficient $K_{1/3}$.

6. References

- [1] Applied Weather Technologies, (2015) Bon Voyage System (BVS 7.1), Voyage Optimization Software, User Manual. 140 Kifer Court, Sunnyvale CA 94086.
- [2] Applied Weather Technologies, (2015) Bon Voyage System (BVS) voyage optimization software 7.1. 140 Kifer Court, Sunnyvale CA 94086.
- [3] National Oceanographic and Atmospheric Administration.
- [4] UK Hydrographic Office NP136, (2014) Ocean Passages for the World, 6th Edition 2014.
- [5] Holweg, E.J., (2000) Mariner's Guide For Hurricane Awareness In the North Atlantic Basin. National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- [6] Wiśniewski, B., (1991) „Problemy wyboru drogi morskiej statku”, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk.
- [7] Wiśniewski, B., (1995) „Współczynnik trudności podróży morskiej statku”, Zeszyty Naukowe WSM Szczecin, vol. 48, pp. 81-97.
- [8] Wiśniewski, B., (2014) „Omijanie cyklonu tropikalnego przez statek”. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, vol.101.
- [9] Wiśniewski B. & Kaczmarek P., (2010) Program CYKLON Version 1.00.

„This research outcome has been achieved under the research project No 1/S/INM/16 financed from a subsidy of the Ministry of Science and Higher Education for statutory activities”.

prof. dr hab inż. of. wacht. Bernard Wiśniewski – jest wykładowcą akademickim w Akademii Morskiej w Szczecinie (Instytut Nawigacji Morskiej) i na Uniwersytecie Szczecińskim (Instytut Nauk o Morzu). Ukończył trzy fakultety (geografia, nawigacja, budownictwo morskie). Stworzył szkołę naukową nawigacji pogodowej w żegludze morskiej. Na poziomie światowym rozwiązał teoretyczne podstawy i problemy dynamicznego prognozowania drogi statków z uwzględnieniem dynamiki środowiska i cech statku jako obiektu sterowania. Wyniki badań zostały opublikowane w około 260 artykułach naukowych. Jest autorem 16 książek naukowych (Share 50%).

mgr inż. kpt.ż.w. Maciej Szymański – jest absolwentem Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie w roku 2000. Kolejne stopnie morskie od marynarza do kapitana uzyskiwał na masowcach, zbiornikowcach, statkach ro-ro i kontenerowcach. Aktualnie pracuje u armatora niemieckiego Hapag Lloyd AG jako kapitan. Jego zainteresowania w zakresie zawodowym dotyczą nawigacji pogodowej i efektywności ekonomicznej żeglugi (Share 50%).

WYKORZYSTANIE WSPÓŁCZYNNIKA POGODOWEGO $K_{1/3}$ DO WYPRACOWANIA MANEWRU UNIKANIA CYKLONU

1. Wprowadzenie

Transatlantycki rejs kontenerowca typu panamax (LOA=281m, GT=46009) na trasie Antwerpia (Belgia, stacja pilotowa Wandelaar), ETD=20.08.2016, 2300UTC) – Caucedo (Dominikana) ETA=30.08.2016, 1800UTC planowano w oparciu o następujące dane i prognozy:

- program AWT BV 7.1 i produkty pogodowe firmy AWT do tegoż programu, w szczególności prognozy pogodowe na 16 dni naprzód. (Applied Weather Technologies 2015), (Applied Weather Technologies, 2015),
- mapy pogodowe uzyskane z NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) – rządowej agencji pogodowej USA,
- standardowe informacje i ostrzeżenia meteorologiczne EGC.

Rys. 1. Cyklon GASTON w prognozach NOAA z 25 i 26 sierpnia (NOAA).

Analizowaną trasę programowano w systemie ORS Bon Voyage 7.1, z którego pochodzą również dane pogodowe użyte w testowaniach. Testowań dokonano na danych pogodowych za całą podróż w odstępach 6 godzinnych, ponieważ takie próbkowanie jest dostępne w systemie Bon Voyage. Jako wysokość fali dopuszczalnej h_d przyjęto 6 m, a wysokość fali niebezpiecznej h_s – 12m. W trakcie podróży napotkano cyklon GASTON – rys.1. Ewaluacji wypracowanych manewrów unikowych dokonano przy użyciu współczynnika pogodowego $K_{1/3}$.

W rozpatrywanym okresie na trasie rejsu statku warunki pogodowe oraz wynikający z nich wybór drogi statku kształtowane są przez 3 główne czynniki: Wyż Azorski, pasaty i cyklony tropikalne

Wg publikacji (UK Hydrographic Office NP136, 2014) zalecanymi trasami są te bazujące na ortodromie. Prognozowane warunki pogodowe były dobre, wybrano zatem trasę ortodromiczną, na N od Azorów. Pokazano ją na rys. 2.

Wybór trasy alternatywnej może się okazać konieczny w przypadku, gdy w południowo-zachodniej części Atlantyku Północnego istnieje lub rozwija się cyklon tropikalny. Ominięcie go wskazane jest od strony równikowej jego toru, po stronie jego bezpiecznych ćwiartek.

3. Współczynnik pogodowy $K_{1/3}$

Definicję współczynnika trudności podróży morskiej statku podano w (Wiśniewski, 1991) oraz w (Wiśniewski 1995). W pracach tych zdefiniowano 2 współczynniki trudności, współczynnik trudności 1 i współczynnik trudności 2, oparte na wysokości fali maksymalnej z całej podróży (współczynnik 1) oraz obserwowanej przez nawigatorów h_c (Wiśniewski 1991) (współczynnik 2) w czasie podróży w funkcji kąta ich nabiegu oraz na określonych dla każdego statku dopuszczalnej i niebezpiecznej wysokości fali. Ich definicje również podano w wyżej wymienionych publikacjach.

Do oceny poziomu bezpieczeństwa trasy w podróży analizowanej w niniejszym artykule przyjęto zmodyfikowany współczynnik pogodowy 2. Modyfikacja współczynnika polega na zastąpieniu wysokości fali obserwowanej h_c wysokością prognozowaną fali znacznej $h_{1/3}$. Zmodyfikowany współczynnik trudności $K_{1/3}$, wyraża się następującym wzorem:

$$K_{1/3} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{h_{1/3}(q)}{h_d(q)} (1 + \alpha_d)(1 + \alpha_s) \quad (1)$$

gdzie:

- $h_{1/3}(q)$ – wysokość fali znacznej prognozowanej na dany odcinek drogi w funkcji kąta nabiegu fali, w literaturze przyjęło się też określenie „znacząca wysokość fali $h_{1/3}$ ”;
- h_c – wysokość fali charakterystycznej obserwowanej na statku przez nawigatorów ($h_c = h_{1/3}/1,11$);
- $h_d(q)$ – dopuszczalna wysokość fali w funkcji kąta nabiegu fali;
- h_s – niebezpieczna wysokość fali;
- $\alpha_d = n_d/n$ – stosunek liczby przypadków, w których zanotowano wysokości fal znacznych równe lub większe od h_d do liczby obserwacji w danym sektorze fali;
- $\alpha_s = n_s/n$ – stosunek liczby przypadków, w których zanotowano wysokości fal znacznych równe lub większe od h_s do liczby obserwacji w danym sektorze fali.

Do testowania tras i określenia czy są one bezpieczne z uwagi na wysokości falowania przyjęto graniczną wielkość współczynnika $K_{1/3} \geq 0,75$. [6, 7]

4. Wyniki

Manewr unikowy z użyciem systemu Bon Voyage

W ostrzeżeniach nawigacyjnych i systemie Bon Voyage cyklon był widoczny od 23 sierpnia. Jednak z powodu dużej odległości (ok. 1600Mm) oraz dużego horyzontu czasowego prognoz jego ruchu, ograniczono się do obserwacji, zgodnie z zaleceniami nawigacyjnymi (Wiśniewski 2014). Manewr unikowy przy użyciu systemu Bon Voyage zaczęto planować od 25 sierpnia.

Trasy wygenerowane automatycznie przez system 25 sierpnia przecinają tor ruchu cyklonu przed nim, omijając go od strony bieguna – rys. 3.

Stanowi to pogwałcenie nautycznych zasad omijania układów tropikalnych. Dlatego, pomimo korzystnych współczynników $K_{1/3}$ tych tras (tabela 1), trasy te zostały odrzucone.

Trasa	25 sierpień, 0600 UTC	26 sierpień, 1600 UTC	26 sierpień, 0600 UTC
Współczynnik $K_{1/3}$	0,296875	0,310366	0,316463

Komercyjnie wariant ryzykowny jest korzystniejszy niż wariant asekuracyjny – odległość na trasie oraz koszty paliwa są mniejsze. Zestawienie parametrów komercyjnych rejsu oraz współczynnik $K_{1/3}$ dla obu wariantach przedstawione są w tabeli 2.

Trasa	Wariant asekuracyjny	Wariant ryzykowny
Odległość [Mm]	4202	4117
Koszt [USD]	476352	458582
Współczynnik $K_{1/3}$	0,257917	0,272604

Application of $K_{1/3}$ weather coefficient to tropical cyclone avoidance
Wykorzystanie współczynnika pogodowego $K_{1/3}$ do wypracowania manewru...

Ryc. 4. Manewr unikowy w systemie Bon Voyage – programowanie ręczne, wariant ryzykowny – czerwona sylwetka statku.
(Opracowanie własne na podstawie programu Bon Voayge)

Ryc.5. Manewr unikowy w systemie Bon Voyage – programowanie ręczne, wariant asekuracyjny – czerwona sylwetka statku.
(Opracowanie własne na podstawie programu Bon Voyage)

Wyliczono wartość współczynnika $K_{1/3}$ dla ram czasowych obejmujących sam okres manewru unikowego, między 26.08, 1800UTC a 28.08, 1200UTC. Tak wyliczona wartość współczynnika $K_{1/3}$ dla manewru asekuracyjnego wynosi 0,263542, a dla manewru ryzykownego 0,341146. Są one mniejsze od przyjętej wartości progowej $K_{1/3} \geq 0,75$.

Tabela 3. Zestawienie współczynników $K_{1/3}$ dla wybranych tras (Opracowanie własne)

Trasa	Współczynnik $K_{1/3}$
Manewr ryzykowny cała trasa	0,272604
Manewr ryzykowny, ramy czasowe manewru unikowego	0,341146
Manewr asekuracyjny, cała trasa	0,257917
Manewr asekuracyjny, ramy czasowe manewru unikowego	0,263542
Program CYKLON, cała trasa	0,322958
Program CYKLON, ramy czasowe manewru unikowego	0,58125

Manewr unikowy z użyciem programu CYKLON

Kursy bezpieczne omijania cyklonu wyznaczone przy użyciu programu CYKLON (Wiśniewski & Kaczmarek 2010) Wyniki przedstawiono na rys.6.

Program CYKLON wyznaczył sektor kursów niebezpiecznych między $KDd=206^\circ$ a $KDd=253^\circ$. Kursy większe od $KDd=253^\circ$ przecinają tor ruchu cyklonu omijając go od strony bieguna, dlatego je odrzucono. W systemie Bon Voyage zaprogramowano trasę z kursem $KDd=206^\circ$ i dla takiej trasy na podstawie prognozowanych wartości wysokości fal $h_{1/3}$ i ich kątów nabiegu wyliczono współczynnik pogody $K_{1/3}$. Odcinek tej trasy omijający cyklon wraz z wariantami ryzykownym i asekuracyjnym pokazano na rys. 7. Dla całej trasy wynosi on $K_{1/3}=0,322958$, a dla ram czasowych samego manewru unikowego $K_{1/3}=0,58125$. Zestawienie współczynników $K_{1/3}$ dla manewrów unikowych zaprogramowanych z użyciem programu CYKLON oraz ręcznie w systemie Bon Voyage przedstawione są w tabeli 3, a wysokości fal znacznych $h_{1/3}$ dla ram czasowych manewru unikowego w tabeli 4.

Rys. 6. Wyniki obliczeń manewru unikowego cyklonu GASTON uzyskane przy użyciu programu CYKLON.

(Opracowanie własne na podstawie programu CYKLON)

Rys. 7. Odcinki omijania cyklonu w wariancie wyliczonym przez program CYKLON (czerwona sylwetka statku) oraz w wariantach ryzykownym i asekuracyjnym w systemie Bon Voyage.
(Opracowanie własne na podstawie programu Bon Voyage)

Tabela 4. Wartości wysokości fal znacznych $h_{1/3}$ [m] wraz z kątami nabiegu dla manewrów asekuracyjnego, ryzykownego oraz wyliczonego przy użyciu programu CYKLON dla przedziału czasu 26.08, 1800UTC do 28.08, 1200UTC
(Opracowanie własne)

Data i godz. UTC	Dla manewru asekuracyjnego	Dla manewru ryzykownego	Dla programu CYKLON
26.08 1800	0,9/093°	0,9/093°	0,9/057°
27.08 0000	1,6/126°	1,6/124°	1,6/121°
27.08 0600	3/155°	3,1/146°	3/137°
27.08 1200	3,5/160°	5,2/146°	5,2/136°
27.08 1800	3,3/155°	4,6/151°	6,7/144°
28.08 0000	2,7/159°	3/182°	4,2/179°
28.08 0600	1,9/152°	2,1/168°	3/227°
28.08 1200	1,5/123°	1,6/087°	2,6/038°

5. Wnioski

- System ORS Bon Voyage nie jest efektywnym narzędziem w planowaniu manewru unikania cyklonu tropikalnego. Niemożliwe jest zaprogramowanie w nim zasad nautycznych omijania cyklonu, jedną z których jest zasada omijania cyklonu od strony równikowej jego toru ruchu.
- Narzędzie pozwalające określić sektory rezonansu falowego, takie jak panel SNAPSHOT w systemie ORS Bon Voyage, jest pomocne w określeniu, czy trasa unikania cyklonu, uzyskana różnymi metodami, jest bezpieczna w aspekcie rezonansu falowego.
- Współczynnik pogodowy $K_{1/3}$ jest pomocny w określeniu ogólnego poziomu bezpieczeństwa pogodowego zaprogramowanej trasy.
- Planowanie i programowanie manewru unikania cyklonu tropikalnego powinny być przeprowadzane przy użyciu kilku narzędzi i metod w celu wszechstronnego sprawdzenia i przetestowania manewru przed rozpoczęciem jego realizacji.
- Wydaje się sensowne implementowanie w systemach ORS narzędzia wyliczającego kursy i sektory niebezpieczne przy unikaniu cyklonu tropikalnego, takiego jak np. program CYKLON oraz algorytmu wyliczania współczynnika pogodowego $K_{1/3}$.

6. Literatura

- [1] Applied Weather Technologies, (2015) Bon Voyage System (BVS 7.1), Voyage Optimization Software, User Manual. 140 Kifer Court, Sunnyvale CA 94086.
- [2] Applied Weather Technologies, (2015) Bon Voyage System (BVS) voyage optimization software 7.1. 140 Kifer Court, Sunnyvale CA 94086.
- [3] National Oceanographic and Atmospheric Administration.
- [4] UK Hydrographic Office NP136, (2014) Ocean Passages for the World, 6th Edition 2014.
- [5] Holweg, E.J., (2000) Mariner's Guide For Hurricane Awareness In the North Atlantic Basin. National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- [6] Wiśniewski, B., (1991) „Problemy wyboru drogi morskiej statku”, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk.
- [7] Wiśniewski, B., (1995) „Współczynnik trudności podróży morskiej statku”, Zeszyty Naukowe WSM Szczecin, vol. 48, pp. 81-97.
- [8] Wiśniewski, B., (2014) „Omijanie cyklonu tropikalnego przez statek”. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, vol.101.
- [9] Wiśniewski B. & Kaczmarek P., (2010) Program CYKLON Version 1.00.

**„Wyniki badań powstałe w ramach realizacji pracy badawczej
nr 1/S/INM/16 finansowanej z dotacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa
Wyższego na finansowanie działalności statutowej”.**

Prof. dr hab inż of. wacht. Bernard Wiśniewski – jest wykładowcą akademickim w Akademii Morskiej w Szczecinie (Instytut Nawigacji Morskiej) i na Uniwersytecie Szczecińskim (Instytut Nauk o Morzu). Ukończył trzy fakultety (geografia, nawigacja, budownictwo morskie). Stworzył szkołę naukową nawigacji pogodowej w żegludze morskiej. Na poziomie światowym rozwiązał teoretyczne podstawy i problemy dynamicznego prognozowania drogi statków z uwzględnieniem dynamiki środowiska i cech statku jako obiektu sterowania. Wyniki badań zostały opublikowane w około 260 artykułach naukowych. Jest autorem 16 książek naukowych (Udział 50%).

Mgr inż. kpt.ż.w. Maciej Szymański – jest absolwentem Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie w roku 2000. Kolejne stopnie morskie od marynarza do kapitana uzyskiwał na masowcach, zbiornikowcach, statkach ro-ro i kontenerowcach. Aktualnie pracuje u armatora niemieckiego Hapag Lloyd AG jako kapitan. Jego zainteresowania w zakresie zawodowym dotyczą nawigacji pogodowej i efektywności ekonomicznej żeglugi (Udział 50%).